

INDUCTION HEATING SYSTEM FOR CONNECTION BY FUSION**Publication number:** RU2153778 (C2)**Publication date:** 2000-07-27**Inventor(s):** KING DZHEJMS D [US]; DONOKHO GAROL D F [US]**Applicant(s):** MINNESOTA MINING & MFG [US]**Classification:**

- international: **H05B6/74; B29C65/06; B29C65/36; H01B13/28; H02G1/14; H05B6/02; H05B6/10; H05B6/64; H05B6/80; H05B6/74; B29C65/06; B29C65/34; H01B13/28; H02G1/14; H05B6/02; H05B6/10; H05B6/64; H05B6/80; (IPC1-7): H05B6/10; B29C65/06; H05B6/64**

- European: **B29C65/36; H05B6/02S2; H05B6/64**

Application number: RU19970117608 19960212**Priority number(s):** US19950413119 19950329**Also published as:**

WO9631090 (A1)

ZA9602403 (A)

US5710413 (A)

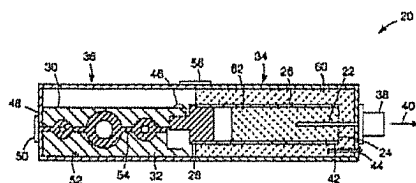
PT818125 (T)

NZ303458 (A)

more >>

Abstract of RU 2153778 (C2)

electrical engineering. SUBSTANCE: induction heating system for connection by fusion has power supply source, composite binder including binding matrix and assemblage of detectors and superimposed electrode intended for transfer of radiant energy on frequency above 50.0 Mhz to composite binding material. Detectors are magnetoreactive on frequencies above 50.0 Mhz and can be sufficiently heated to melt part of above-mentioned binding matrix. Superimposed electrode is selected from assemblage of electrodes of various geometry for heating of composite binding material. Superimposed electrode can include quarter-wavelength resonator with extended base having internal and external conductors, with external conductor partially enveloping internal one as minimum. Internal and external conductors are electrically connected at one end of base by means of wire coils; Superimposed electrode can have collection of wires electrically insulated one from another, each wire forming coil with common axis and being connected in parallel. EFFECT: reduced energy consumption, design of portable system and provision for splicing and repair of cable in the field. 8 cl, 10 dwg



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide



(19) RU⁽¹¹⁾ 2 153 778⁽¹³⁾ C2
(51) МПК⁷ H 05 B 6/10, 6/64, B 29 C 65/06

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

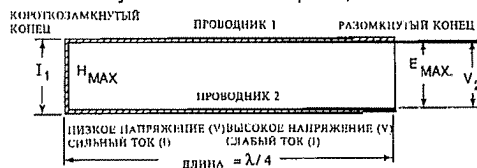
(21), (22) Заявка: 97117608/09, 12.02.1996
(24) Дата начала действия патента: 12.02.1996
(30) Приоритет: 29.05.1995 US 08/413119
(46) Дата публикации: 27.07.2000
(56) Ссылки: US 5245151 A, 14.09.1993. SU 697067, 05.11.1979. SU 79929, 08.02.1950. WO 93/10962 A1, 10.06.1993. SU 423673, 20.09.1970. SU 85467, 14.07.1949. SU 102645, 19.01.1955. US 3709775, 09.01.1973. GB 1432603, 22.04.1976. GB 1425742, 18.02.1976. FR 2149633, 04.05.1971.
(85) Дата перевода заявки PCT на национальную фазу: 29.01.1997
(86) Заявка PCT: US 96/01853 (12.02.1996)
(87) Публикация PCT: WO 96/31090 (03.10.1996)
(98) Адрес для переписки: 113054, Москва, Павелецкая пл. 2, стр.3, "Сквайр, Сандерс энд Демпси (Москва) ЛПС", Безруковой О.М.

(71) Заявитель: Миннесота Майнинг энд Мэнюфакчуриг Компани (US)
(72) Изобретатель: Кинг Джеймс Д. (US), Донохо Гарольд Ф. (US)
(73) Патентообладатель: Миннесота Майнинг энд Мэнюфакчуриг Компани (US)

(54) СИСТЕМА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ МЕТОДОМ СПЛАВЛЕНИЯ

(57) Система индукционного нагрева для соединения методом сплавления содержит источник питания, композиционный связующий материал, имеющий связующую матрицу и множество обнаружителей, и накладной электрод, предназначенный для получения энергии от источника питания для передачи лучистой энергии при частоте выше 50 МГц композиционному связующему материалу; обнаружители являются магнитореактивными при частотах выше 50 МГц и могут быть достаточно нагреты для расплавления части указанной связующей матрицы, причем накладной электрод выбран из множества электродов, имеющих разную геометрию для нагрева композиционного связующего материала. Накладной электрод может содержать четвертьволновый резонатор, имеющий удлиненное основание с внутренним проводником и наружным проводником, по меньшей мере частично

охватывающим внутренний проводник, при этом внутренний и наружный проводники электрически соединены на одном конце основания посредством проводных катушек. Накладной электрод может содержать множество проводов, электрически изолированных друг от друга, каждый провод образует катушку с общей осью, причем каждый из них соединен параллельно. Технический результат заключается в уменьшении расхода электроэнергии, создании портативного устройства, обеспечении сращивания и ремонта кабелей в полевых условиях. 8 з.п. ф-лы, 5 ил.



Фиг. 1



(19) **RU** (11) **2 153 778** (13) **C2**
(51) Int. Cl. 7 **H 05 B 6/10, 6/64, B 29 C 65/06**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 97117608/09, 12.02.1996
(24) Effective date for property rights: 12.02.1996
(30) Priority: 29.05.1995 US 08/413119
(46) Date of publication: 27.07.2000
(85) Commencement of national phase: 29.01.1997
(86) PCT application:
US 96/01853 (12.02.1996)
(87) PCT publication:
WO 96/31090 (03.10.1996)
(98) Mail address:
113054, Moskva, Paveletskaja pl. 2, str.3,
"Skvayr, Sanders ehnd Dempsey (Moskva) LLS",
Bezrukovoij O.M.

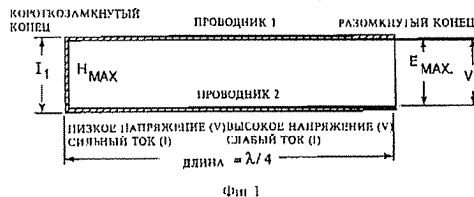
(71) Applicant:
Minnesota Majning ehnd Mehnjufekchuring
Kompani (US)
(72) Inventor: King Dzhejms D. (US),
Donokho Garol'd F. (US)
(73) Proprietor:
Minnesota Majning ehnd Mehnjufekchuring
Kompani (US)

(54) **INDUCTION HEATING SYSTEM FOR CONNECTION BY FUSION**

(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering. SUBSTANCE: induction heating system for connection by fusion has power supply source, composite binder including binding matrix and assemblage of detectors and superimposed electrode intended for transfer of radiant energy on frequency above 50.0 Mhz to composite binding material. Detectors are magnetoreactive on frequencies above 50.0 Mhz and can be sufficiently heated to melt part of above-mentioned binding matrix. Superimposed electrode is selected from assemblage of electrodes of various geometry for heating of composite binding material. Superimposed electrode can include quarter-wavelength resonator with extended base having internal and external conductors, with external conductor

partially enveloping internal one as minimum. Internal and external conductors are electrically connected at one end of base by means of wire coils. Superimposed electrode can have collection of wires electrically insulated one from another, each wire forming coil with common axis and being connected in parallel. EFFECT: reduced energy consumption, design of portable system and provision for splicing and repair of cable in the field. 8 cl, 10 dwg



Изобретение в основном относится к соединению методом сплавления термопластичных материалов, таких как полиолефины, путем их нагрева, а именно к способу и устройству для передачи электромагнитной энергии материалу, имеющему внутри себя обнаружители электромагнитной энергии, с целью нагрева данного материала. Настоящее изобретение особенно применимо для соединения полиэтиленовых кабелей и труб, например, используемых в области телекоммуникаций.

Настоящее изобретение относится к способу и устройству для соединения, ремонта или герметизации электроизоляционных покрытий кабелей и труб, используемых, например, в области телекоммуникаций, в том числе кабелей с медными жилами или оптическими волокнами. При соединении концов двух или нескольких кабелей, например, при удлинении кабеля, при врезке в существующий кабель или при ремонте поврежденного кабеля образуется срезок или место срачивания. Как правило, необходимо закрыть такие места срачивания, чтобы защитить их от вредных воздействий окружающей среды вне зависимости от того, является ли кабель, например, воздушным или подземным.

Постоянной проблемой при применении защитного устройства для срезков мест срачивания является необходимость полной герметизации места срачивания. В большинстве известных защитных устройств для срезков места срачивания применяется герметизация с помощью сложной системы гаек и болтов, зажимов, прокладок и термоусадочных (термоэластичных) труб, а также заливочных герметиков и смол в различных комбинациях. Помимо того, что эти способы защиты требуют значительного времени для сборки, в защитных устройствах нередко возникают утечки и трещины, особенно вдоль уплотнительных швов. Эта проблема усложняется при уплотнении защитного устройства относительно оболочки кабеля (внешнего слоя кабеля), где даже самый незначительный дефект может привести к миграции влаги по оболочке кабеля или по внутренней поверхности защитного устройства. Влага проникает на место срачивания и неблагоприятно воздействует на свойства электрического соединения, нередко даже в том случае, когда используется термоусадочная трубка, так как такая трубка обеспечивает в лучшем случае слабую адгезию к оболочке кабеля. Использование термоусадочных трубок в конструкции защитных устройств для срезков к тому же ограничено обычными требованиями стойкости к открытому пламени, так как во многих случаях (например, когда срезки находятся в траншеях или кабельных колодцах) они могут оказаться очень опасными из-за возможного выделения взрывоопасных газов.

Утечку через уплотнения можно несколько уменьшить путем применения специальных защитных конструкций, например конструкций так называемого типа "двустворчатый моллюск", которые включают шарнир, сформированный заодно с верхней и нижней половинами защитного устройства. Одно из таких устройств описано в патенте США N

4810829, который относится к защитному устройству для срезков SLiC (SLiC - торговая марка компании Minnesota Mining and Manufacturing Co.). Тем не менее по-прежнему сохраняется возможность миграции влаги по продольному уплотнению такого устройства, а также у торцевых пробок или по уплотнительным стыкам с оболочкой кабеля. Особенно вредным отсутствие полного (герметичного) уплотнения может быть также для защитных устройств, работающих под давлением.

Хотя подобные уплотнения могут быть улучшены за счет использования клеев, образующиеся клеевые соединения являются достаточно непрочными из-за низкой поверхностной энергии материала защитного устройства и кабелей, как правило, полиэтилена. В патенте США N 3143364 описаны проблемы, связанные с приклеиванием к полиэтилену практически любого материала. Альтернативной технологией уплотнения термопластичных полимеров, например полиэтилена, является соединение методом сплавления. Эта технология обычно предусматривает нагрев материала до его расплавления на герметизируемых поверхностях с обеспечением его течения на поверхностях сопряжения, вызывая его слияние на стыках; она может быть использована для стыковой сварки, муфтовых соединений и ремонта с помощью трубок. Существуют четыре характерных способа соединения методом сплавления: (i) прямой нагрев, (ii) СВЧ-нагрев, (iii) диэлектрический нагрев и (iv) индукционный нагрев.

Эти различные способы нагрева можно использовать для активизации терморезактивных и термопластичных клеев (термоклеев), а также термоэластичных (термоусадочных) трубок.

При прямом нагреве тепло подводится к подлежащему присоединению термопластичному изделию с помощью нагревательных элементов, прикрепляемых непосредственно к этому изделию. Ток, протекающий через элементы, нагревает их. Ток подается от источника питания, подсоединенного непосредственно к элементам, однако нагрев оказывается не очень эффективным. Достоинством такой системы является то, что она не связана с выделением излучения, хотя при использовании источников тока с жестким монтажом возникают вопросы безопасности, а недостатком ее является неравномерный нагрев материала. Примеры применения прямого нагрева для герметизации кабелей, труб или защитных устройств приведены в патентах США Nos 4095044, 4792374 и 4947012 и в заявках PCT Nos WO 89/05230, WO 90/06010 и WO 94/05485.

При СВЧ-нагреве, в зависимости от используемых материалов, СВЧ-энергия излучателя может нагревать материал за счет диэлектрической поляризации, гистерезисного нагрева и (или) омического нагрева. Первый из этих механизмов обусловлен электрической составляющей поля СВЧ-сигнала (полем "E"), а последние два механизма обусловлены магнитной составляющей поля (полем "H"). Соединение кабелей и труб с использованием композиционного связующего материала

(КСМ), имеющего обнаружители СВЧ-энергии, описано в патентах США NN 5245151 и 5254824. Для СВЧ-нагрева, как правило, используются сигналы в диапазоне от 1 до 300 ГГц, хотя в заявке ЕПВ N 399599 описано применение СВЧ-излучения с частотой по меньшей мере 433 МГц.

Известен также диэлектрический нагрев, для которого требуются две пластины, или электрода, которые создают переменный электрический потенциал (напряжение) вокруг или через нагреваемое тело. При диэлектрическом нагреве происходит взаимодействие только с полем E , т. е. возникновения наведенных вихревых токов или гистерезисных потерь не происходит. Нагрев обусловлен диэлектрическими потерями или такими механизмами поглощения, которые могут возникать из-за возмущения электронов в атомах или молекулах (индуцирование дипольного момента), и диэлектрической поляризацией, если материал имеет полярные молекулы. Полярная молекула (например, воды) не является непременно магнитореактивной. В заявке Японии (Кокай) 54-58777 описано использование диэлектрического нагрева для соединения полиолефиновых труб. В канадском патенте N 1237970 отмечено, что возможно комбинирование диэлектрических и индукционных методов нагрева.

Индукционный нагрев широко используется для герметизации и соединения полимерных материалов. Композиционный связующий материал изготавливается путем диспергирования магнитореактивных обнаружителей в термопластичной основе, совместимой (допускающей смешивание) со свариваемыми термопластичными телами. Когда этот материал помещается в переменное электромагнитное поле, поле H индуцирует нагрев магнитного материала. Нагрев может быть обусловлен одним из двух эффектов: гистерезисными потерями или омическими потерями за счет наведенных вихревых токов. Поле E с магнитными частицами не взаимодействует. Ниже приведен список патентов США, охватывающих большое разнообразие индукционных способов нагрева, применяемых для нагрева клеев и композиционных связующих материалов с целью соединения таких термопластичных материалов, как полиэтилен.

Номера патентов США 2393541, 3574031; 3620875, 3657038; 3709775, 3730804, 3802985; 3996090, 4067765, 4749833; 4762864, 5123989; 5125690.

В этих патентах описаны различные материалы обнаружителей, включая оксиды железа (двух- и трехвалентного), ферритный порошок (например, бариевый феррит), прочие металлы и оксиды металлов, включая хром, марганец, никель, кобальт, нержавеющую сталь, алюминиевые сплавы, кремний, медь, серебро и золото и углеродный порошок (графит). Эти материалы могут быть нанесены на инертные частицы, т. е. на подложку обнаружителя, которая является прозрачной для высоких частот или не реагирует на них, включая такие подложки, как стеклянные бусинки или слюдяные чешуйки. Обнаружители могут быть круглыми, неправильной формы или изготовленными из волокон, проволоки, полос, листов, тканей

или сеток.

Переменное электромагнитное поле, используемое в таких способах индукционного нагрева, имеет частоту, находящуюся, как правило, в диапазоне 4-30 МГц. В патенте 5123989 описан индукционный нагрев при очень низкой частоте вплоть до 1 кГц. Leatherman в патентах 3996090, 4067765 и 3802985 полагает, что частота может меняться от 450 кГц до 5 ГГц, однако никаких разъяснений, как добиться эффективного преобразования энергии на таких высоких частотах, не приводится. Фактически Leatherman дает только использование индукционной катушки и указывает, что при наличии такой катушки максимальная частота должна составлять 35-50 МГц. Источники питания более низкой частоты представляются предпочтительными, так как они, как правило, стоят гораздо дешевле, чем высокочастотные генераторы, однако применение более низких частот обычно требует большего объема материала обнаружителей, чем при более высоких частотах. Поэтому применение генератора более низкой частоты приводит к увеличению нагрузки на материал обнаружителей в композиционном связующем материале, что может вызвать снижение прочности композиционного связующего материала и отрицательно повлиять на сплавленное уплотнение. Кроме того, не рекомендуется использовать более низкие частоты для соединения методом сплавления телекоммуникационных кабелей, так как эти кабели имеют металлические компоненты (оболочки в медных кабелях, стальные упрочняющие пряди в волоконно-оптическом канале), которые взаимодействуют с магнитной составляющей поля индукционной энергии, вследствие чего этот металлический компонент сильно нагревается, вызывая повреждение кабеля или проводников/волокон в нем, а также бесполезно расходует энергию.

Расход энергии имеет важное значение для сращивания и ремонта кабелей в полевых условиях, так как при этом мощность источников энергии может быть ограничена. Кроме того, источник питания и накладной электрод должны быть портативными, как можно более легкими и прочными. Обычные источники питания и накладные электроды неудобны для использования при сращивании и ремонте кабелей и защитных устройств тем, что они, как правило, являются громоздкими и тяжелыми и не обладают соответствующей геометрией для герметизации кабелей. Кроме того, отсутствуют подходящие накладные электроды для более высоких частот. Поэтому желательно создать систему для эффективного введения электромагнитной энергии в поглощающие материалы, позволяющую нагревать и соединять материалы с меньшим расходом электромагнитной энергии, чем в известных устройствах, особенно при повышенных частотах. Источник питания и накладной электрод должны быть портативными (т. е. не слишком громоздкими или тяжелыми), чтобы их можно было удобно применять для сращивания и ремонта телекоммуникационных кабелей в полевых условиях. Дополнительным преимуществом могла бы стать возможность герметизации

поверхностей разных форм и размеров и возможность герметизации вокруг кабеля или защитного устройства без необходимости доступа к концу кабеля. Конструкция и обеспечение эксплуатации накладного электрода должны также удовлетворять действующим правилам техники безопасности.

В настоящем изобретении предложена система индукционного нагрева для соединения методом сплавления телекоммуникационных кабелей и защитных устройств, содержащая в основном (i) композиционный связующий материал (КСМ), имеющий связующую основу и множество обнаружителей, причем обнаружители являются магнитореактивными при частоте выше 50 МГц, и (ii) накладной электрод для передачи композиционному связующему материалу лучистой электромагнитной энергии с частотой выше 50 МГц, благодаря чему обнаружители могут быть достаточно нагреты для расплавления части связующей основы. Предпочтительно, обнаружители являются магнитореактивными в диапазоне 75-500 МГц, а накладной электрод излучает электромагнитную энергию в диапазоне 75-500 МГц. Наиболее предпочтительно, накладной электрод подводит энергию на пиковой частоте около 125 МГц.

В одном примере осуществления накладной электрод содержит удлиненный коаксиальный четвертьволновый резонатор, имеющий внутренний проводник и наружный проводник, который по крайней мере частично окружает внутренний проводник, причем внутренний и наружный проводники закорочены на одном конце резонатора, кроме того, внутренний и наружный проводники выполнены таким образом, что материал, содержащий обнаружители, может быть помещен между внутренним и наружным проводниками. Внутренний проводник может содержать электропроводную трубку, расположенную внутри электропроводного наружного экрана (наружного проводника). Для соединения резонатора с источником питания через емкостный штырь, подводящий электромагнитную энергию к внутренней трубке резонатора, предусмотрен коаксиальный соединитель, при этом емкостный штырь подсоединен к центральному проводнику коаксиального соединителя, а наружная труба (экран) присоединена к заземляющему проводнику коаксиального соединителя. Пространство между емкостным штырем и внутренней трубкой резонатора, а также между внутренней трубкой и наружной трубой (экраном) может быть заполнено диэлектрическим материалом.

Накладной электрод может быть выбран из множества накладных электродов, каждый из которых предназначен для получения энергии от одного и того же источника питания, но имеет различную геометрию для нагрева композиционного связующего материала, т.е. для приспособления к соединяемым термопластичным изделиям различной формы. В альтернативном варианте накладной электрод может быть выполнен в виде основания накладного электрода и нагревательного переходника, оперативно присоединяемого к указанному основанию накладного электрода, при этом

нагревательный переходник выбирается из множества нагревательных переходников, имеющих различную геометрию для нагрева композиционного связующего материала.

В альтернативном примере осуществления накладного электрода две резонаторные трубки электрически связаны катушкой, форма которой может быть рассчитана на охват детали или зоны, подлежащей нагреву. Эта катушка может состоять из одиночной электропроводной полоски или из множества проводов, электрически изолированных друг от друга, каждый из которых образует катушку с общей для всех осью, причем все провода электрически соединены параллельно на каждом конце. Несколько таких проводов могут быть дополнительно наложены друг на друга для образования многослойных катушек, благодаря чему эффективное сопротивление накладного электрода уменьшается, а токонесящая способность увеличивается. Последовательно с каждой из указанных катушек может быть включено множество расположенных через определенные интервалы конденсаторов, поэтому ток в катушках является приблизительно однородным по окружности катушки, большей примерно 0,1 длины волны лучистой электромагнитной энергии.

Вышеописанная система эффективно передает электромагнитную энергию связующему материалу при меньшей электромагнитной мощности, чем та, которая требуется для более обычных средств, и осуществляет это при более высокой частоте, благодаря чему исключаются проблемы, связанные с индукционным нагревом телекоммуникационных кабелей при более низких частотах. При этом также уменьшаются размеры, вес и стоимость генератора электромагнитной энергии, и он становится более пригодным для эксплуатации в полевых условиях, когда наличие энергии индуктора ограничено. Кроме того, требование сокращения потребляемой электромагнитной мощности повышает безопасность таких нагревателей благодаря неотъемлемому ослаблению в этом случае электромагнитных полей, которые могут воздействовать на оператора, а также снижает возможные помехи для других систем, работающих на тех же электромагнитных частотах. К дополнительным особенностям настоящего изобретения относятся: (1) пригодность для эффективного нагрева и соединения материалов прямолинейной, криволинейной, круглой и других форм; (2) способность создавать уплотнения вокруг и между материалами большой длины без обязательного доступа к концу материала; (3) ограниченный и регулируемый объем зоны нагрева, форма и размеры которой соответствуют соединяемому материалу; (4) пригодность для нагрева поглощающих диэлектрических материалов за счет электрической составляющей электромагнитного поля или для нагрева магнитопоглощающих или резистивных материалов за счет магнитной составляющей и (5) совместимость конструкции накладного электрода с соответствующим экранированием для минимизации излучения электромагнитного поля за пределы

нагревательного устройства.

Настоящее изобретение будет наиболее понятным при описании со ссылками на прилагаемые чертежи, где:

на фиг. 1 представлен вертикальный разрез обычного двухпроводникового четвертьволнового резонатора,

на фиг. 2А и 2В представлены общие виды коаксиальных четвертьволновых резонаторов, используемых в качестве накладных электродов для индуктивно передаваемой энергии, в соответствии с настоящим изобретением;

на фиг. 3А, 3В, 3С и 3D представлены вертикальные разрезы другого примера осуществления накладного электрода согласно настоящему изобретению, выполненного в виде четвертьволнового резонатора, с нагревательными переходниками различной формы,

на фиг. 4А и 4В представлены виды спереди и сверху соответственно для еще одного примера осуществления накладного электрода согласно настоящему изобретению, выполненного в виде четвертьволнового резонатора, предназначенного для использования с уплотнительными продольными кромками,

на фиг. 5 представлен общий вид альтернативного примера осуществления накладного электрода, используемого в настоящем изобретении.

Настоящее изобретение представляет собой способ и систему для индукционного нагрева, в частности для соединения методом сплавления термопластичных полиолефинов, и по существу содержит (i) накладной электрод для получения лучистой электромагнитной энергии и (ii) композиционный связующий материал (КСМ), имеющий связующую основу и множество обнаружителей, которые являются магнитореактивными. Обнаружители энергии выбираются так, чтобы они были эффективны при очень высоких частотах, выше 50 МГц, предпочтительно в диапазоне 75-500 МГц. Накладной электрод соответственно проектируется так, чтобы оптимизировать выход энергии в этих диапазонах, и наиболее предпочтительно - при пиковой частоте около 125 МГц.

В одном из примеров осуществления в накладном электроде согласно настоящему изобретению используются свойства четвертьволнового резонатора. Длина двухпроводниковой электрической линии передачи, которая закорочена на одном конце (соединение с малым сопротивлением медного проводника с другим) и разомкнута на другом, как показано на фиг. 1, будет резонансной при частотах, на которых четверть длины волны (или ее нечетное кратное) примерно равна эффективной длине линии. При этих резонансных частотах линия будет обладать (почти) нулевым импедансом на короткозамкнутом конце и очень высоким импедансом на разомкнутом конце. В результате при надлежащем присоединении к источнику электромагнитной энергии с частотой, соответствующей частоте четвертьволнового резонанса, на короткозамкнутом конце линии напряжение между двумя проводниками будет почти равно нулю, и в проводниках будет протекать очень большой ток. К разомкнутому концу

линии напряжение на линии увеличивается, а протекающий в проводниках ток уменьшается, благодаря чему на разомкнутом конце ток по существу равен нулю, а напряжение между проводниками является максимальным.

Качество резонатора определяется добротностью "Q", которая представляет собой отношение запасенной энергии к энергии, рассеиваемой за период колебаний электромагнитного поля. Значения напряжения на разомкнутом конце и тока на короткозамкнутом конце пропорциональны (1) мощности P , подаваемой от электромагнитного источника на резонатор, и (2) соответствующим импедансам на двух концах линии, так что $P = E^2/Z_1 = I^2Z_2$, где E - напряженность электрического поля на разомкнутом конце, Z_1 - электрический импеданс между проводниками на разомкнутом конце, Z_2 - эффективный импеданс на короткозамкнутом конце и I - ток на короткозамкнутом конце. Эти импедансы являются функциями конфигурации линии передачи и величины Q , на которую отрицательно влияют омические потери мощности в проводниках, диэлектрические потери мощности в изоляционной среде между проводниками, потери мощности на излучение и потери мощности в поглощающем материале, нагреваемом за счет полей в резонаторе. Для эффективного нагрева материалов потеря мощности в этих материалах должна составлять как можно большую часть полной потери мощности. При этом предполагается, что Q резонатора без учета влияния нагреваемого материала должно быть как можно более высоким в рамках ограничений, накладываемых другими требованиями, а материал, подлежащий нагреву, должен снижать Q настолько, насколько это возможно достичь, т. е. мощность, поглощаемая от резонатора нагреваемым материалом, должна быть максимизирована. Накладной электрод согласно настоящему изобретению решает эти вопросы.

Нагрев магнитных и электропроводных материалов за период изменения магнитного поля является функцией напряженности магнитного поля (H), характеристик гистерезисных потерь, характеристик потерь на вихревые токи и частоты периода изменения поля. Полная потеря мощности поля P_t в таких материалах равна $P_t = P_h + P_e$, где P_h - гистерезисные потери, Вт, $\propto BfVA_{вн}$.

P_e - потери на вихревые токи, Вт, $\propto f^2B^2V$,
 B - магнитная индукция в материале, μH ,
 μ - относительная магнитная

проницаемость материала,
 H - напряженность магнитного поля,
 f - частота поля H ,

V - объем материала,

$A_{вн}$ - площадь кривой B - H магнитного материала для напряженности магнитного поля H .

Для неэлектропроводных магнитных материалов нагрев материала вызывается только гистерезисными потерями в результате поглощения энергии электромагнитного поля. Поскольку поле H пропорционально току, протекающему в проводнике, в четвертьволновом резонаторе наибольшую напряженность поле H будет иметь на короткозамкнутом конце линии.

Аналогичный анализ для электрического поля показывает, что диэлектрический нагрев может быть максимизирован на разомкнутом конце линии.

Ток I , который генерирует поле H , является функцией значения Q резонатора и характеристического импеданса Z_0 . При заданном значении электромагнитной энергии, подаваемой на резонатор, увеличение Q резонатора приводит к усилению полей E и H . Кроме того, ток является обратной функцией Z_0 , а напряжение является прямой функцией этого параметра. Для максимизации Q потери мощности, т.е. мощность, рассеиваемая за период колебаний, за вычетом потерь в нагреваемом материале, должны быть минимизированы. Минимизация потерь на излучение наилучшим образом достигается путем использования резонатора закрытой (экранированной) конструкции, аналогичной коаксиальной линии передачи, как это показано на фиг. 2А и 2В, или аналогичной объемному резонатору, в котором используется волноводная технология. Величина Q резонатора возрастает также при минимизации омических потерь в проводниках за счет использования материалов с малым удельным сопротивлением, имеющих максимальную площадь поперечного сечения, и за счет малого сопротивления стыков или соединений между металлическими компонентами. Аналогично, любые диэлектрические или электроизоляционные материалы, используемые в конструкции резонатора, должны иметь минимальный тангенс угла диэлектрических потерь при выбранной рабочей частоте. Форма проводников на короткозамкнутом конце резонатора, окружающем объем подлежащего нагреву магнитного материала, определяет область, где наблюдается максимальный нагрев материала данного типа.

Примеры осуществления накладного электрода, изображенные на фиг. 2, 3 и 4, основаны на четвертьволновом коаксиальном резонаторе, короткозамкнутом на одном конце и разомкнутом на другом. Эти накладные электроды имеют наружный проводник 10, который образует экран вокруг внутреннего проводника 12. Электрический проводник с малым сопротивлением (продолжение экрана) присоединяет проводник 10 к проводнику 12 на короткозамкнутом конце 14, предпочтительно охватывает короткозамкнутый конец 14, причем наружный проводник 10 может также закрывать разомкнутый конец 16, но не имеет при этом электрической связи с центральным проводником 12 на разомкнутом конце 16. Наружный проводник (экран) 12 может иметь круглую (фиг. 2А), квадратную (фиг. 2В) или иную форму. Подлежащий нагреву материал магнитопоглощающий 18 помещается между двумя проводниками вблизи короткозамкнутого конца линии. В наружном проводнике около короткозамкнутого конца 14 могут быть выполнены отверстия или пазы для ввода материала, обладающего диэлектрической реактивностью и подлежащего нагреву, в зону между проводниками у короткозамкнутого конца. Центральный проводник 12 может быть

выполнен в виде полупетли или может иметь другую форму, приспособленную для охвата нагреваемого материала и соответственно для концентрации поля в требуемой зоне. Электромагнитная энергия от внешнего генератора подается в резонатор посредством емкостного штыря на разомкнутом конце или вблизи него, посредством индуктивного контура на короткозамкнутом конце или вблизи него или посредством прямого электрического соединения с центральным проводником.

Четвертьволновый резонатор должен иметь эффективную электрическую длину, равную четверти длины волны на рабочей частоте. Известно, что физическая длина может быть сделана более короткой, чем эффективная электрическая длина, за счет соответствующего использования емкостной или индуктивной нагрузки или за счет применения между двумя проводниками изоляционного материала с высокой диэлектрической постоянной. Материал с высокой диэлектрической постоянной уменьшает скорость электромагнитной волны в резонаторе пропорционально корню квадратному из диэлектрической постоянной материала. Например, если пространство между проводниками заполнить материалом с относительной диэлектрической постоянной, равной 4, то физическая длина резонатора для заданной частоты может быть (номинально) уменьшена вдвое по сравнению с воздушнонаполненным резонатором. Материал с высокой диэлектрической постоянной вызывает также уменьшение величины Z_0 . Эти свойства преимущественно используются в настоящем изобретении для уменьшения физического размера и увеличения (при заданной мощности) тока и результирующего поля H , в котором происходит нагрев магнитных материалов (они также могут быть использованы и для регулирования поля E).

Преимуществом примеров

осуществления, показанных на фиг. 2, 3 и 4, по сравнению с индукционными катушками (многовитковыми проводными обмотками), является то, что они позволяют лучше контролировать объем нагреваемого материала и могут быть изготовлены в виде раскрываемого зажима, что позволяет нагревать тонкий слой по периферии на требуемой длине материала без необходимости доступа к концу материала. Например, нетрудно изготовить резонатор, рассчитанный на быстрый зажим вокруг удлиняемого конца кабеля, вместо того, чтобы протаскивать кабель через индукционную катушку. На фиг. 3 показан пример осуществления настоящего изобретения для зажима вокруг и нагрева магнитопоглощающих материалов и для сварки таких материалов с пристыкованными материалами. На фиг. 4 показан второй пример осуществления для нагрева отрезков магнитопоглощающих материалов.

На фиг. 3 показаны предпочтительные примеры осуществления настоящего изобретения для зажима вокруг и нагрева материала в периферийной зоне одного или нескольких кабелей или защитных устройств (фиг. 3А, 3В и 3С) или для нагрева плоских полос материала (фиг. 3D). Материал (дополнительно рассмотренный ниже) может

иметь слоистую конфигурацию, в которой внутренний материал обладает магнитным поглощением при частоте резонатора, а наружные материалы являются либо поглощающими, либо непоглощающими. Нагрев одного или нескольких слоев может быть достаточным для того, чтобы материал (или его части) достиг точки плавления или точки сплавления и слои соединились один с другим. Подобным образом могут быть сварены вместе многие пластики, в частности полиэтилен, если одному или нескольким слоям путем использования соответствующих добавок придать способность к магнитному поглощению электромагнитной энергии при частоте резонатора. Такими добавками могут быть частицы или нити материалов, обладающих гистерезисными потерями, или тонкие пленки резистивных материалов, или материалы, изменяющие объемное удельное сопротивление или характеристики электропроводности слоя.

Накладной электрод 20 на фиг. 3А представляет собой четвертьволновый резонатор со средствами для передачи электромагнитной энергии через емкостный штырь 22 на разомкнутом конце 24 внутреннего проводника резонатора. В этом примере осуществления внутренний проводник состоит из нескольких компонентов, включающих резонаторную трубку 26, соединительный элемент 28 и проводник с малым сопротивлением 30. Наружный проводник также образован несколькими деталями, включающими другой проводник с малым сопротивлением 32, и экран, образованный первым корпусом 34, который окружает резонаторную трубку 26, и вторым корпусом 36, который окружает проводники с малым сопротивлением 30 и 32. Штырь 22 присоединен к центральному проводнику коаксиального кабельного соединителя 38. Коаксиальный кабель (не показан) от соединителя 38 идет к источнику электромагнитного сигнала (источнику питания) 40, который обеспечивает соответствующую мощность при частоте резонатора (дополнительно рассмотренной далее). Резонаторная трубка 26 окружает или прилегает к штырю 22, образуя пару для создания емкостной связи, за счет которой достигается требуемое значение входного импеданса резонатора на соединителе 38. Как правило, этот входной импеданс согласовывается с полным сопротивлением коаксиального кабеля, используемого для передачи электромагнитной (ЭМ) энергии от источника 40, но он может иметь и другое значение, согласованное непосредственно со значением полного сопротивления близко расположенных генератора, усилителя, возбудителя или другого компонента. Если входной импеданс составляет 50 Ом или менее, можно использовать более длинный коаксиальный кабель без значительных потерь. Другой штырь 42, электрически связанный с соединителем 44, также образует емкостную связь с резонаторной трубкой 26 и может быть использован для отбора части энергии резонатора в качестве выходного сигнала для целей контроля уровня резонансной мощности, индикации надлежащего согласования резонатора с источником ЭМ волн или для обратной связи с входом электронного усилителя для

обеспечения его самовозбуждения и работы в качестве источника ЭМ энергии на частоте резонатора, когда выход усилителя подключен к резонатору через входной связующий штырь 22.

Проводник с малым сопротивлением 30 съемно прикреплен к элементу связи 28 резонаторной трубки 26 с помощью разъемного соединения с малым сопротивлением 46 через соединительный элемент 28 для образования продолжения центрального проводника в сторону короткозамкнутого конца 48. Проводник с малым сопротивлением 32 электрически связан с проводником 30 и корпусом 36 посредством металлического элемента 50 и дополнительно соединен с корпусом 36 по расширенной поверхности раздела 52 для образования части наружного проводника и пропускание основной части тока ЭМ резонатора, протекающего в проводниках в зоне около короткозамкнутого конца 48. Смежные поверхности 32 и 36 имеют форму, максимально соответствующую нагреваемому материалу 54. На фиг. 3 показано несколько форм элементов 32 и 36 для нагрева круглого или плоского материала. Материал 54 может быть нагрет, даже если этот материал не полностью заполняет всю доступную для материала зону. Центральные зоны круглых форм, показанных на фиг. 3А, 3В и 3С, также могут быть нагреты, хотя и не в такой степени, как материал по периферии этих зон. Детали наружного проводника 34 и 36 разделены у 56, а детали 26 и 30 центрального проводника шарнирно закреплены на короткозамкнутом конце 48, благодаря чему 30 и 32 можно отделить, чтобы установить на место материал 54 или чтобы нагреватель можно было установить вокруг нагреваемого материала, а затем снять. Специалистам в данной области техники после ознакомления с настоящим описанием будут очевидны и другие шарнирные и разделяемые конфигурации, позволяющие устанавливать и зажимать нагреватель вокруг нагреваемого материала различной формы.

В конфигурации, изображенной на фиг. 3А, в качестве электрического короткозамыкателя между внутренним и наружным проводниками, а также в качестве шарнира используется один металлический элемент 50. В конфигурации, изображенной на фиг. 3В, электрический короткозамыкатель между деталями 30 и 32 электрически изолирован от экрана (корпуса 36), образующего наружный проводник резонатора таким образом, что через наружный шарнир 58 сильный ток не протекает. Такая конструкция обеспечивает лучшее экранирование и снижает электромагнитное излучение от нагревателя. В конфигурациях, изображенных на фиг. 3С и 3D, проводник с малым сопротивлением 32 имеет такую форму, что он электрически изолирован от экрана на сильноточном (короткозамкнутом) конце резонатора с целью улучшения выравнивания тока и нагрева материала 54 токами в элементах 30 и 32 и с целью дополнительного уменьшения токов в экране для минимизации излучения. Смежные поверхности элементов 32 и 36 (например, по 52) в любом из примеров осуществления резонатора согласно фиг. 3А, 3В, 3С и 3D могут иметь форму, соответствующую любой

геометрии материала, как изображенную на любой из этих фигур, так и любую другую, какая только может быть пригодна для нагрева магнитопоглощающих материалов. Диэлектрический материал 60 между внутренним и наружным проводниками 26 и 34 обеспечивает электрическую изоляцию для минимизации эффекта высоковольтного пробоя на разомкнутом конце резонатора, служит для уменьшения скорости распространения ЭМ волны в резонаторе, благодаря чему уменьшается требуемая физическая длина резонатора для выбранной частоты, и может вызывать увеличение силы тока и соответственно нагревательного действия на короткозамкнутом конце линии за счет уменьшения характеристического импеданса Z_0 элемента линии передачи, образующего резонатор. Диэлектрический материал 60 может занимать всю длину резонатора или только ее часть, как показано на фиг. 3, и может заполнять все пространство между проводниками или только его часть. Диэлектрический материал выбирается так, чтобы он имел минимальные диэлектрические потери для обеспечения высокого значения Q резонатора и относительную диэлектрическую постоянную, требуемую для оптимизации физических размеров и Z_0 резонатора. Штырь связи 22 электрически изолирован от резонаторной трубки 26 с помощью дополнительного диэлектрического материала 62. Этот диэлектрик должен быть материалом с малыми потерями для минимизации отрицательного влияния на Q резонатора и может быть тем же самым, что и материал 60, или иным.

На фиг. 3 дополнительно показано, каким образом различные нагревательные переходники (детали 30, 32, 36) могут быть прикреплены (по одной штуке) к общему основанию накладного электрода (детали 22, 26, 28, 34). Даже если были предусмотрены совершенно отдельные накладные электроды, они могут использовать общий источник питания 40.

Для образования петли вокруг нагреваемого материала вместо элементов 30, 32 и 50 может быть использована непрерывная полоса электропроводного материала (не показано). Эта полоса предпочтительно могла бы быть присоединена у 46 к 28 и у 64 к 34 с целью удовлетворения электрических требований к короткозамкнутому концу и к остальной длине (индуктивности), необходимой для образования четвертьволнового резонатора при желаемой частоте. Могут быть предусмотрены средства для регулирования длины петли, образуемой данным проводником, и тем самым для управления напряжением. Такие средства могут быть очень простыми, например в виде прорези в полосе под креплением 46 зажима, через который проходит полоса, или винтового механизма.

На фиг. 4А и 4В показан усовершенствованный пример 70 четвертьволнового резонатора, наиболее удобный для нагрева удлиненных отрезков материалов, которые являются магнитоактивными при частоте резонатора. Проводник 72 соединяет резонаторную трубку 26 с проводником 30, образуя продолжение

внутреннего проводника резонатора. Электропроводный элемент 32 подключен к экрану 36, образуя продолжение наружного проводника. Другой элемент с малым сопротивлением 74 образует электрический короткозамыкатель между двумя электропроводными элементами 30 и 32. Подлежащий нагреву материал 54 помещается между смежными поверхностями элементов 30 и 32, где большой ЭМ ток резонаторного нагревателя создает максимальное ЭМ поле. Край нагреваемого материала через прорезь 76 вдоль одной из сторон корпуса 36 проходит в зону между проводниками 30 и 32. Прорези в примыкающих краях экрана позволяют удлиненным отрезкам материала перемещаться через проводники 30 и 32, как показано на фиг. 4В, что полезно, например, для обработки продольных кромок защитных устройств. Узел удлиненной части накладного электрода (детали 30, 32, 36, 72 и 74 на фиг. 4) может быть выполнен с возможностью отделения от других элементов, показанных на фиг. 4, или может быть выполнен за одно целое с ними.

Источник питания 40 представляет собой генератор высокой частоты, работающий на частоте резонатора, который может работать на постоянном токе напряжением 12 В, а также на переменном токе напряжением 110/220 В. Частота резонатора выбирается так, чтобы она была оптимальной для конкретного применения и лежала в диапазоне 50-1000 МГц. Частота генератора предпочтительно привязывается к частоте резонатора за счет использования обратной связи. В настоящем примере осуществления, где накладные электроды имеют размеры, рассчитанные на герметизацию телекоммуникационных кабелей и защитных устройств, оптимальная частота равна 125 МГц. Мощность генератора оптимизируется по размеру и глубине соединения методом сплавания. Источник питания, как и накладной электрод, должен удовлетворять всем действующим нормативным требованиям, а также таким промышленным стандартам, как стандарт ANSI/IEEE C 95.1-1992 "Безопасные уровни высокочастотных электромагнитных полей применительно к воздействию на человека, от 3 кГц до 300 ГГц".

На фиг. 5 изображена альтернативная конструкция накладного электрода 80, где также предусмотрены средства повышения эффективности при создании переменного электромагнитного поля очень высокой частоты и высокой напряженности. Накладной электрод 80 имеет пониженные потери мощности в элементе индуктивной связи (катушка 82) и благодаря этому позволяет получить магнитное поле повышенной напряженности при заданном значении подводимой к нему высокочастотной мощности, а также снизить омические потери и нагрев катушки протекающим через нее ВЧ-током. Благодаря изменению конструкции катушки нагревателя можно использовать более высокие частоты, чем те, которые были бы возможны для эффективного нагрева материала большого диаметра иным способом.

Электромагнитное поле в катушке в общем случае пропорционально току I ,

протекающему через проводник. Рассеиваемая в катушке энергия равна $I^2 R$, где R - эффективное сопротивление отрезка проводника, образующего катушку. При низких частотах это сопротивление выражается формулой $R = \rho L/A$, где A - площадь поперечного сечения проводника,

L - длина проводника,

ρ - удельное сопротивление проводника.

Для медного провода диаметром 6 мм и длиной 30,5 см площадь поперечного сечения составляет 31 мм^2 , а сопротивление в случае постоянного тока и в случае переменного тока при очень низких частотах будет равно примерно $1,71 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$. Пропускаемый через провод для создания магнитного поля ток силой 100 А вызывает рассеяние в проводе мощности 1,71 Вт. Однако, как хорошо известно, на более высоких частотах скин-эффект ограничивает эффективную площадь поперечного сечения, так что большая часть тока должна протекать в очень тонкой области около поверхности проводника. При этом увеличиваются эффективное сопротивление и мощность, требуемая для протекания заданного тока через проводник. Например, при частоте 100 МГц глубина скин-слоя для меди составляет $8,89 \cdot 10^{-4} \text{ см}$, и эффективное сопротивление провода того же диаметра 6 мм и длиной 30,5 см увеличивается в 233 раза до $1,308 \text{ Ом/м}$. Для тока в 100 А рассеиваемая мощность составит 398,8 Вт. Это вызовет сильный нагрев провода, что приведет к дальнейшему увеличению сопротивления и мощности в дефектном цикле и к избыточному термическому нагреву материала вблизи поверхности проводника.

В альтернативной конструкции накладного электрода 80 для эффективного увеличения электропроводного поперечного сечения при высоких частотах для заданной общей площади поперечного сечения проводника используется множество соединенных параллельно проводов небольшого диаметра. Толщина скин-слоя в проводнике малого диаметра приблизительно равна этой толщине в проводнике большого диаметра, однако для тонких проводов относительная доля физической площади поперечного сечения, через которую проходят высокочастотные токи, будет гораздо больше. Например, сплошной провод диаметром 6 мм имеет площадь поперечного сечения $0,31 \text{ см}^2$, но при частоте 100 МГц эффективная токонесущая площадь поперечного сечения составляет $13,5 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2$. Пучок из 1000 проводов, каждый из которых имеет диаметр $20 \cdot 10^{-3} \text{ см}$, будет иметь такую же полную площадь поперечного сечения, однако если эти провода должным образом отделены друг от друга, эффективная токонесущая площадь поперечного сечения на частоте 100 МГц будет равна $56 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$. Это в 41 раз больше, чем у сплошного проводника диаметром 6 мм, и эффективное сопротивление соответственно уменьшится в 41 раз. Для тока 100 А рассеиваемая в проводнике мощность в связи с этим уменьшается с 398,8 Вт до 9,7 Вт.

Катушка, изготовленная из полосы меди или другого проводника, может быть использована, чтобы попытаться получить более однородное поле H большей

протяженности по ширине и в окрестности проводника. Зачастую бывает необходимо получить равномерный нагрев в широкой зоне материала, который поглощает энергию H -составляющей электромагнитного поля. Когда проводником служит широкая полоска, по которой ток проходит перпендикулярно к ее ширине, плотность тока не является однородной по ширине, около края она имеет большее значение. Вследствие этого напряженность поля H выше у краев проводника и меньше в его средней части. Улучшить однородность распределения тока при понижении эффективного сопротивления можно, как это было описано выше, путем использования множества параллельных проводников меньшей ширины. Эти проводники физически располагаются рядом друг с другом и изолированы друг от друга за исключением их электрического параллельного соединения на концах для образования слоя проводников требуемой полной ширины. Для дальнейшего уменьшения эффективного сопротивления эти проводники могут быть уложены в стопу, благодаря чему увеличивается токонесущая способность и уменьшается рассеиваемая мощность при заданном токе.

Описанный слой параллельных проводников, который образует электропроводящую катушку ленточного типа требуемой ширины, может быть изготовлен путем травления плакированных медью плат с целью получения требуемого рисунка проводников на одной или на обеих сторонах изоляционной подложки. Толщина подвергаемого травлению покрытия и ширина отдельных проводников предпочтительно должны быть предпочтительно несколько больше удвоенной толщины скин-слоя для частоты тока, используемого для создания электромагнитного поля, при этом ленточный проводник используется для формирования полной или частичной катушки. Расстояние между проводниками должно быть наименьшим, при котором уменьшение толщины скин-слоя за счет влияния токов, протекающих в соседних проводниках, является минимальным.

Например, протравленные параллельные проводники шириной 0,15 мм, расположенные на расстоянии между центральными осями 0,3 мм и имеющие толщину 0,038 мм, были использованы для образования ленточного проводника полной толщиной примерно от 1,27 до 1,9 см. Число параллельных проводников лежало в диапазоне от 42 до 63. Изоляционные подложки имели толщину от 0,13 до 1,5 мм и включали стекловолокно, фторопласт, армированный фторопласт и полиамидные материалы. Этот перечень проводников, материалов подложек и размеров не является исчерпывающим и потенциально могут использоваться другие. Для обеспечения электрического соединения на концах или при необходимости в других точках могут быть использованы отверстия с гальваническим покрытием между проводниками с каждой стороны подложки. Концы всех проводников электрически соединены параллельно с помощью широкого участка проводника, который также служит средством для присоединения полосы к остальной схеме и к генератору, используемому для подачи высокочастотных

колебаний через катушку.

Многопроводная катушка может быть присоединена к короткозамкнутой части коаксиальной высокочастотной линии передачи, как это было описано выше применительно к резонатору, содержащему внутреннюю трубку и наружную трубку, к которым через емкостный штырь подводится высокочастотная (ВЧ) энергия, или к соответствующему конденсатору для образования электрического резонатора с высоким значением добротности Q , настроенного на требуемую рабочую частоту. Может быть предусмотрено соответствующее согласование импеданса для обеспечения максимальной передачи мощности от ВЧ-генератора к резонатору с целью максимизации эффективности, с которой используется имеющаяся ВЧ-энергия. Катушка предпочтительно заключена в экран (полностью или частично) для сведения к минимуму внешнего электромагнитного поля и излучаемой мощности, вследствие чего повышается эффективность генерирования ВЧ магнитного поля высокой напряженности внутри или около катушки.

Многие материалы, которые могут быть нагреты путем воздействия Н-составляющей электромагнитной волны, на более высоких частотах обладают большим поглощением, чем на более низких. По этой причине для достижения требуемой степени нагрева при минимальном значении ВЧ-энергии желательно использовать как можно более высокую частоту. Однако желательно также, чтобы нагрев был равномерным по всей длине материала, нагреваемого с помощью ВЧ-поля. Когда катушка образована непрерывным проводником, питаемым ВЧ-током, поле будет меняться по длине проводника как функция длины волны. Поэтому при высокой частоте, при которой должна использоваться катушка, окружность катушки должна составлять небольшую долю длины волны, как правило 0,1 или менее. Тем самым определяется предел по отношению к максимальному размеру материала, который может быть равномерно нагрет при выбранной частоте. Например, если нагревательные свойства материала требуют применения минимальной частоты 400 МГц (длина волны 0,75 м), то тогда наибольшая окружность катушки, которая может быть использована с сохранением длины проводника менее 0,1 длины волны, составляет 0,075 м, и наибольший диаметр катушки равен 2,4 см. Тем самым максимальный диаметр равномерно нагреваемого материала ограничивается значением менее 2,4 см.

Преодолеть данное ограничение и нагревать при выбранной частоте большие сечения материала можно за счет включения последовательно с проводником одного или нескольких конденсаторов, при этом ток будет поддерживаться более однородным по окружностям катушки, составляющим значительно большую часть длины волны. Длина проводника, образующего катушку, делится на несколько отрезков, каждый из которых составляет небольшую долю длины волны (т. е. 0,1 длины волны или меньше). Между соседними отрезками помещается конденсатор, корректирующий фазу тока или частично изменяющий эффективное

индуктивное сопротивление отрезков проводника в виде катушки. Благодаря использованию соответствующей емкости между отрезками ВЧ ток, протекающий от отрезка к отрезку, поддерживается почти синфазным и имеет почти однородную амплитуду. Это позволяет равномерно нагревать гораздо большие сечения материала, чем это было бы возможно в ином случае при выбранной очень высокой частоте. Эти конденсаторы предпочтительно могут быть образованы протравленным рисунком проводников на обеих сторонах изоляционной подложки, но могут быть и дискретными конденсаторами с соответствующими допустимой нагрузкой током, номинальным напряжением, сопротивлением потерь и стабильностью. Как известно, для плоскопараллельных конденсаторов величина созданной подобным образом емкости определяется, в первом приближении, площадью перекрытия проводников на обеих сторонах изоляционной подложки и толщиной и диэлектрической постоянной подложки. Для повышения точности расчета может потребоваться учет влияния длины волны. Материал подложки должен иметь малые диэлектрические потери и высокое напряжение пробоя. Установлено, что для этих целей пригодны подложки на основе фторопласта, хотя могут быть использованы и подложки из других материалов. Протравленные плоскопараллельные конденсаторы могут быть объединены с проводниками, которые образуют отрезки катушки, и соответствующий рисунок вытравливается одновременно на двухсторонней плате для получения катушечной ленты требуемой длины. Отрезки катушки и перекрывающиеся участки, образующие конденсаторы, могут иметь описанную выше конфигурацию в виде множества параллельных проводников или могут быть изготовлены из более широкой полоски. В объеме настоящего изобретения могут также быть использованы другие способы изготовления. Накладной электрод 80 может использовать тот же источник питания 40, который используется с накладным электродом 20.

Композиционный связующий материал (КСМ), используемый в настоящем изобретении, содержит связующую основу со множеством магнитореактивных обнаружителей внутри нее. Связующая основа может быть когезионным материалом (термопластическим, например, полиэтиленом), адгезивным материалом (эпоксидной смолой или горячелюющим) или их смесью. Могут быть использованы простые обнаружители, например ферритовый порошок. Предпочтительным материалом являются слоистые магнитные частицы, описанные в Патентной заявке США N 08/412966, поданной 29 марта 1995 г. Эти многослойные чешуйки включают по крайней мере один тонкопленочный кристаллический ферромагнитный металлический слой, чередующийся по высоте с по крайней мере одним тонкопленочным диэлектрическим слоем, и присутствуют в связующей основе в количестве примерно от 0,1% до 10% по объему. Состав композиционного связующего материала, как правило, не является критичным и не входит в объем настоящего

изобретения, однако композиционный связующий материал должен быть реактивным при частоте накладного электрода. В связующую основу или в обнаружители может также входить материал, обладающий диэлектрической реактивностью. И наконец, обнаружители могут быть саморегулируемыми, т.е. с ограничением точкой Кюри.

Хотя настоящее изобретение описано со ссылками на конкретные примеры осуществления, данное описание не должно толковаться в ограничительном смысле. Специалистам в данной области после ознакомления с описанием настоящего изобретения будут очевидны различные модификации описанных примеров осуществления, а также альтернативные примеры осуществления настоящего изобретения. Поэтому предполагается, что указанные модификации могут быть сделаны без отклонения от духа или объема настоящего изобретения, сформулированного в прилагаемой патентной формуле.

Формула изобретения:

1. Система индукционного нагрева для соединения методом сплавления, содержащая источник питания, композиционный связующий материал, имеющий связующую матрицу и множество обнаружителей, и накладной электрод, предназначенный для получения энергии от источника питания для передачи лучистой электромагнитной энергии композиционному связующему материалу, отличающаяся тем, что обнаружители являются магнитоактивными при частотах выше 50 МГц, а накладной электрод выполнен с возможностью передачи электромагнитной энергии излучателем при частоте выше 50 МГц так, что обнаружители могут быть достаточно нагреты для расплавления части указанной связующей матрицы, причем накладной электрод выбран из множества электродов, имеющих разную геометрию для нагрева композиционного связующего материала.

2. Система по п. 1, отличающаяся тем, что обнаружители являются магнитоактивными в диапазоне 75 - 500 МГц, а накладной электрод подает лучистую электромагнитную

энергию в диапазоне 75 - 500 МГц.

3. Система по п. 1, отличающаяся тем, что накладной электрод содержит четвертьволновый резонатор

4. Система по п. 1, отличающаяся тем, что накладной электрод содержит основание накладного электрода и нагревательный переходник, функционально связанный с основанием накладного электрода, причем нагревательный переходник выбран из множества нагревательных переходников, имеющих разную геометрию для нагрева композиционного связующего материала.

5. Система по п. 1, отличающаяся тем, что накладной электрод содержит множество проводов, электрически изолированных друг от друга, каждый провод образует катушку с общей осью, причем каждый из них соединен параллельно.

6. Система по п. 1, отличающаяся тем, что накладной электрод содержит четвертьволновый резонатор, имеющий удлиненное основание накладного электрода с внутренним проводником и наружным проводником, по меньшей мере частично охватывающим внутренний проводник, при этом внутренний и наружный проводники электрически соединены на одном конце основания накладного электрода посредством проводных катушек.

7. Система по п. 5, отличающаяся тем, что несколько проводов из указанного их множества наложены друг на друга для образования нескольких слоев указанных катушек так, что эффективное сопротивление накладного электрода уменьшается, а его токонесущая способность увеличивается.

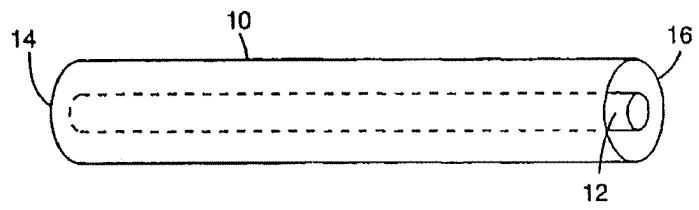
8. Система по п. 1, отличающаяся тем, что накладной электрод дополнительно содержит емкостный штырь для передачи электромагнитной энергии внутреннему проводнику.

9. Система по п. 5, отличающаяся тем, что дополнительно содержит множество конденсаторов, каждый из которых соединен последовательно с соответствующей проводной катушкой так, что ток в указанных катушках является приблизительно одинаковым по окружностям катушек, длина которых больше 0,1 длины волны лучистой электромагнитной энергии.

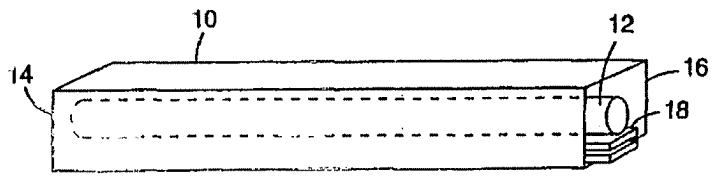
50

55

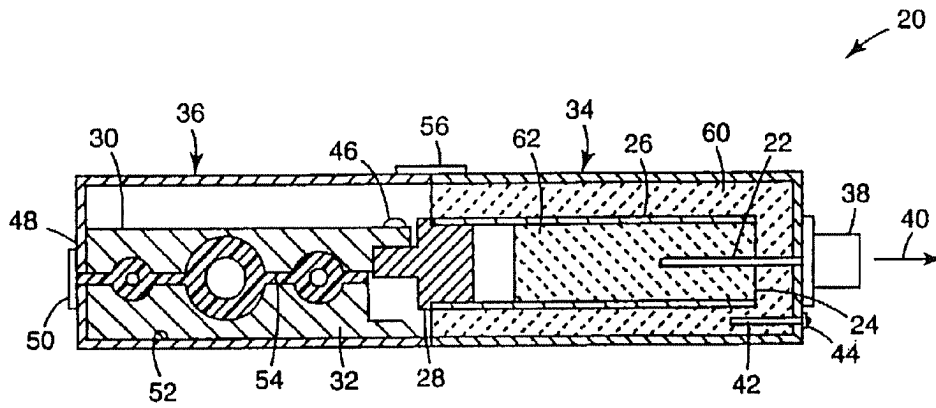
60



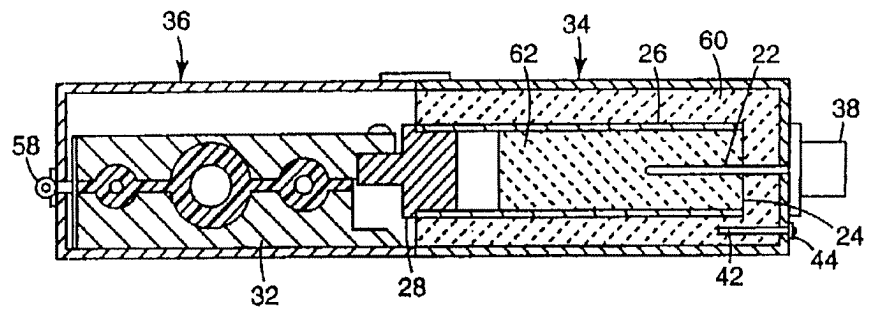
Фиг.2А



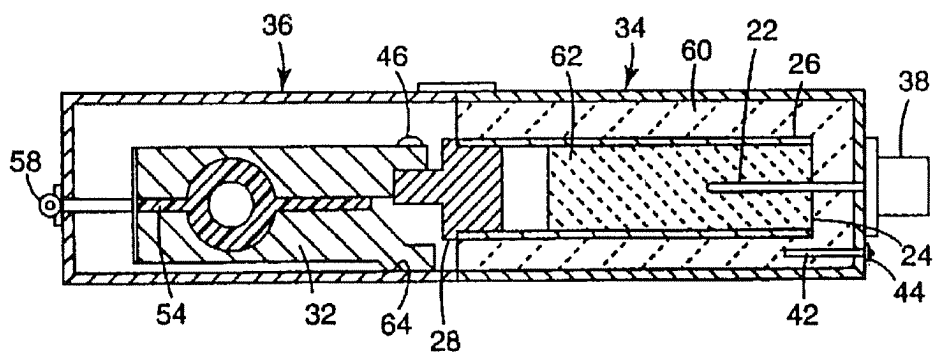
Фиг.2В



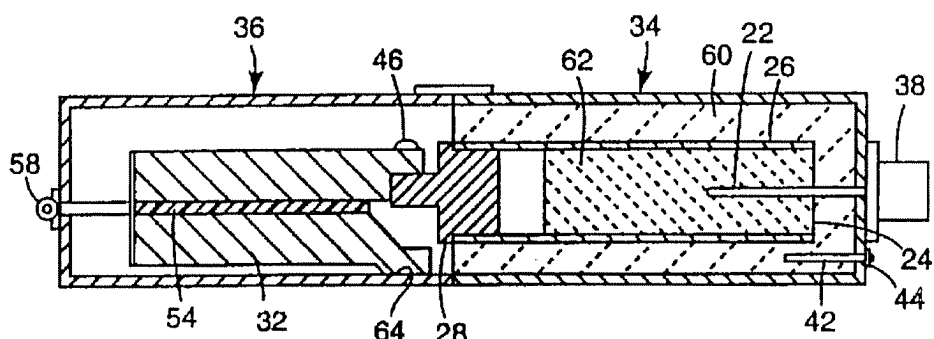
Фиг.3А



Фиг.3В



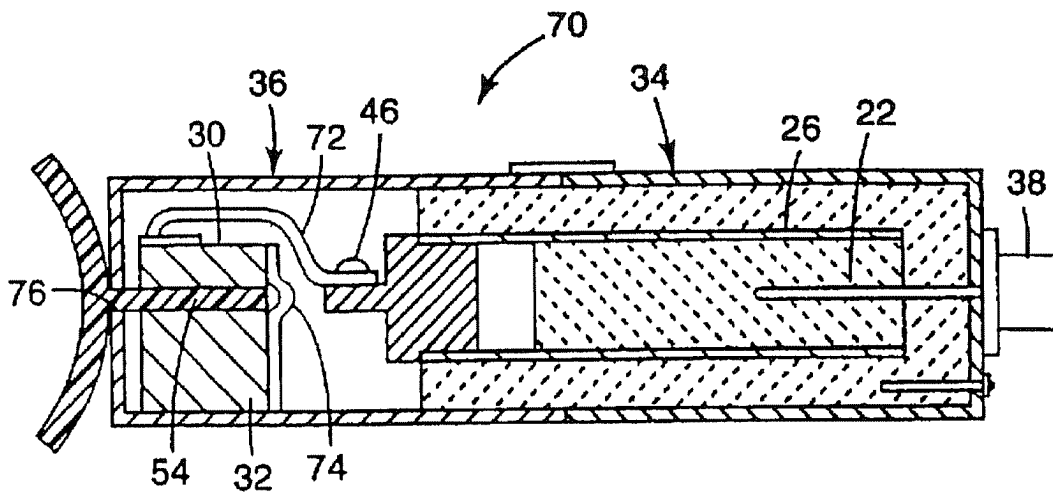
Фиг.3С



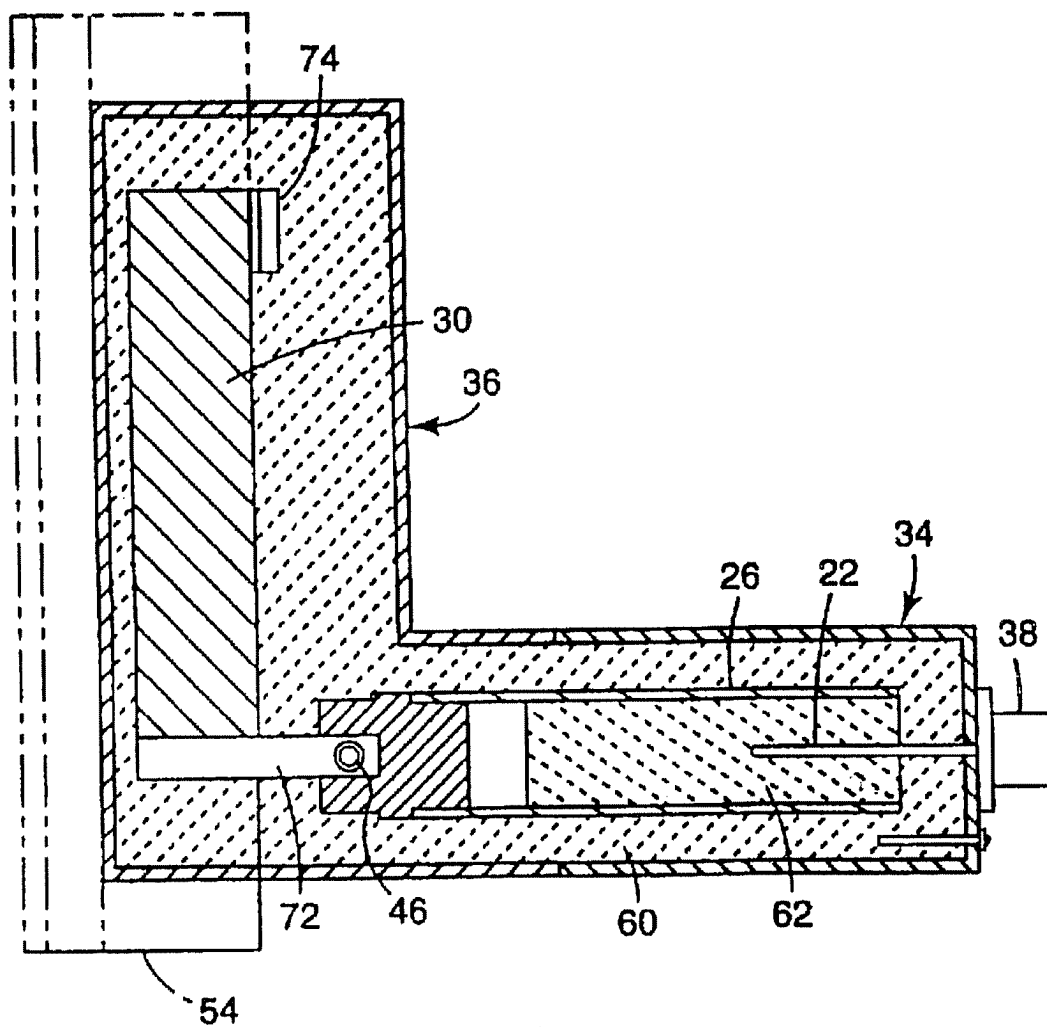
Фиг.3D

RU 2153778 C2

RU 2153778 C2

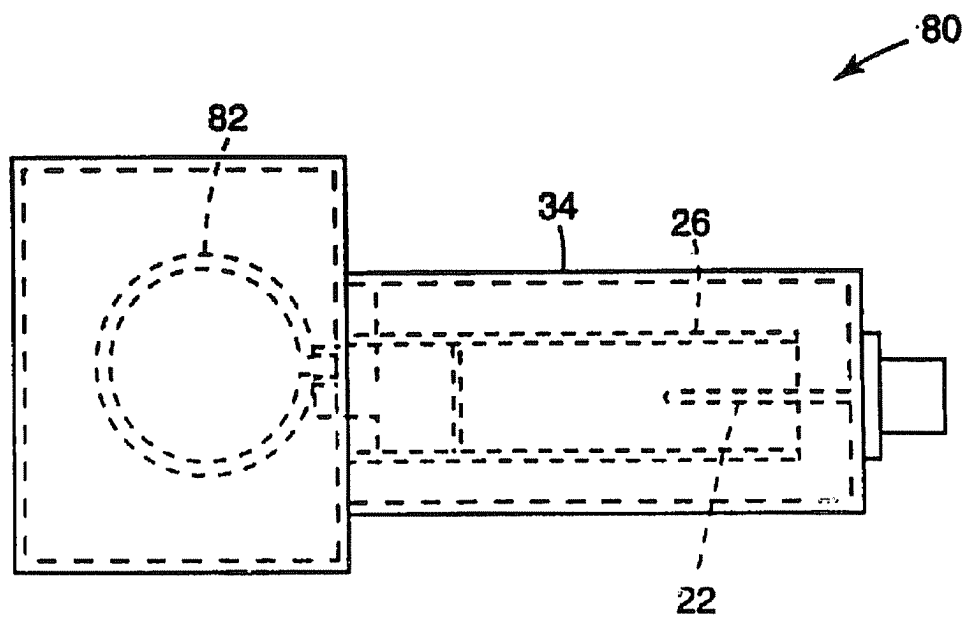


Фиг.4А



Фиг.4В

RU 2153778 C2



Фиг.5

RU 2153778 C2